Journal of Horticultural Science
https://jhs.um.ac.ir

Research Article
Vol. 37, No. 4, Winter 2024, p. 887-900

Effect of Drought Stress on Growth and Physiological Parameters in Four Pistachio Rootstocks (*Pistacia vera* L.)

N. Zeinoldini[1], H.R. Karimi[2*], F. Nazoori[3], S.R. Sahhafi[4]

1, 2 and 3- M.Sc. Student, Professor and Associate Professor, Department of Horticultural Science, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran, respectively.
4- Associate Professor, Department of Genetics and Plant Production, Faculty of Agriculture, Vali-e-Asr University of Rafsanjan, Rafsanjan, Iran
(*- Corresponding Author Email: h.karimi214@vru.ac.ir)

Received:	30-01-2022	**How to cite this article:**
Revised:	25-04-2023	Zeinoldini, N., Karimi, H.R., Nazoori, F., & Sahhafi, S.R. (2024). Effect of drought stress on growth and physiological parameters in four pistachio rootstocks (*Pistacia vera* L.). *Journal of Horticultural Science, 37*(4), 887-900. (In Persian with English abstract). https://doi.org/10.22067/jhs.2023.74905.1131
Accepted:	29-05-2023	
Available Online:	31-05-2023	

Introduction

Pistachio is one of the most important horticultural crops in Iran. Most pistachio orchards are located in arid and semi-arid regions of Iran, which have a lack of irrigation water. Drought stress is considered as one of the most important limiting factors for the production of plants in dry areas. Pistachio (*P. vera* L.) is one of the drought-resistant fruit trees due to its deep roots, but it has been reported that water stress reduces the yield and dry quality of this product. The degree of resistance to drought stress in pistachios depends on the type of rootstock, so the evaluation of pistachio species from the point of view of the rootstock is important.

Material and Methods

In order to evaluate the resistance of four pistachio rootstocks to drought stress, a factorial experiment in a completely randomized design with two drought factors at three levels (3, 6 and 9 days irrigation intervals) and a rootstock at four levels, 'Badami- e- Riz-e-Zarand', 'Ghazvini', Eurycarpa (*Pistacia euricarpa*), and an interspecific hybrid (*P. vera* × *P. terebinthus*) with three replications were performed under greenhouse conditions. Hybrid rootstocks produce in a breeding program using hybridization of *P. vera* and *P. terebinthus*. At the end of the experiment, the growth parameters including the number of leaves, leaf area, stem height, as well as stem diameter at a height of one centimeter above the soil surface, leaf fresh and dry weight, shoot fresh and dry weight, and root fresh and dry weight, as well as physiological and biochemical parameters including chlorophyll fluorescence (FV/FM), SPAD index, PI, Cha, Chb, total chlorophyll and carotenoids, RWC, proline, soluble carbohydrates, and phenolic compounds and concentrations of Calcium, Magnesium, Potassium and Iron elements in leaves were measured.

Results and Discussion

The results showed that drought stress reduced growth and physiological indices so that the lowest reduction in shoot dry weight was related to the hybrid rootstock and the highest reduction was related to 'Ghazvini'. It has been reported that the height and diameter of the stem of pistachio seedlings decrease significantly with the increase in irrigation period. This decrease can be attributed to the reduction of the cell turgor pressure under stress. In response to drought stress, the content of proline and soluble carbohydrates in the leaves of the studied rootstock increased. The results of this study are in line of other studies on pistachio. The highest content of proline and the lowest content of soluble carbohydrates were observed in 'Badami- e- Riz-e-Zarand’. The highest

https://doi.org/10.22067/jhs.2023.74905.1131

content of soluble carbohydrates belonged to Eurycarpa and hybrid rootstocks. The reason for the increase of soluble carbohydrates in the present study can be due to the decrease in the amount of photosynthesis. Drought stress exerted an influence on the nutrient concentrations within both shoots and roots, leading to an increase in potassium content. The highest concentrations of potassium in shoots and roots were noted in the Eurycarpa and hybrid rootstocks, respectively. This elevation in potassium concentration in both roots and shoots could be attributed to active absorption of this element. Plants enhance potassium absorption by expending energy to sustain stomatal conductance, cell turgor pressure, and osmotic regulation.

Conclusion

Drought stress is considered one of the most important environmental stresses, the first effects of which appear in plants in the form of reduced growth and disturbance in physiological parameters. Based on the present study, most of the measured parameters were subjected to drought treatment and the investigated rootstocks showed different reactions, so that hybrid and Eurycarpa rootstocks were less affected by drought stress than other rootstocks. According to the results of the present study, it can be postulated that Eurycarpa and hybrid rootstocks have a high potential for drought resistance.

Keywords: Hybrid, Proline, *P. eurycarpa,* Soluble carbohydrates

نشریه علوم باغبانی
https://jhs.um.ac.ir

مقاله پژوهشی
جلد ۳۷، شماره ٤، زمستان ١٤٠٢، ص. ۹۰۰-۸۸۷

اثر تنش خشکی بر شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی چهار پایه پسته

نجمه زین‌الدینی[۱]- حمیدرضا کریمی[۲*]- فاطمه ناظوری[۳]- سیدرسول صحافی[٤]

تاریخ دریافت: ۱۴۰۰/۱۱/۱۰
تاریخ پذیرش: ۱۴۰۲/۰۳/۰۸

چکیده

به‌منظور ارزیابی میزان مقاومت چند پایه پسته به تنش خشکی، آزمایشی به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور خشکی در سه سطح (۳، ۶ و ۹ روز) و پایه در چهار سطح (ʼبادامی ریز زرندʻ،ʼقزوینیʻ، یوریکارپا و یک هیبرید بین گونه‌ای (ورا × تربینتـوس) و سـه تکـرار در شـرایط گلخانه به اجرا در آمد. نتایج نشان داد که تنش خشکی سبب کاهش شاخص‌های رشدی و فیزیولوژیکی شد به‌گونه‌ای که کم‌ترین کاهش وزن خشـک اندام هوایی مربوط به پایه هیبرید و بیش‌ترین کاهش مربوط به پایه ʼقزوینیʻ بود. در پاسخ به تنش خشکی، میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول در برگ پایه‌های مورد بررسی افزایش یافت. بیش‌ترین میزان پرولین (۰/۶۰ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) و کم‌ترین میـزان کربوهیـدرات‌هـای محلـول (۰/۸۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) در پایه ʼبادامی ریز زرندʻدیده شد. بیش‌ترین میزان کربوهیدرات‌های محلول نیز در پایه‌های یوریکارپا (۱/۶۴ میلی گرم بر گـرم وزن تر) و هیبرید (۱/۵۸ میلی‌گرم بر گرم وزن تر) مشاهده شد. تنش خشکی بر غلظت عناصر غذایی اندام هوایی و ریشه تأثیرداشت. به‌طوری‌کـه تـنش خشکی سبب افزایش میزان پتاسیم اندام هوایی و ریشه گردید. بالاترین غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشـه بـه‌ترتیـب در پایـه‌هـای یوریکارپـا (۳، ۱/۸ درصد) و هیبرید (۲/۷، ۲ درصد) مشاهده شد. با توجه به نتایج پژوهش حاضر می‌توان عنوان کرد که پایه‌هـای یوریکارپـا و هیبریـد از پتانسـیل بـالای مقاومت به خشکی برخوردارند.

واژه‌های کلیدی: پرولین، کربوهیدرات، هیبرید، یوریکارپا

مقدمه

تنش خشکی به‌عنوان یکی از مهم‌ترین عوامـل محـدود کننـده برای تولید گیاهان در اقلیم‌های خشک به‌شمار می‌رود. تنش خشـکی از طریق تولید رادیکال‌های اکسیژن فعال مراحل رشدی گیاه را تحت تأثیر قرار می‌دهد و باعث اختلال در فرآیندهای فیزیولوژیکی گیـاه از جمله فتوسنتز می‌شود و درصورت تداوم مرگ گیاه را به‌دنبال خواهـد داشت. اثرات تنش خشکی در گیاهان بسته به رقم، مرحله رشد گیاه و میزان صدمات وارد شده متفاوت می‌باشد (Karamer, 1984). اگرچه پسته (*P. vera* L.) به‌دلیل داشتن ریشه‌های عمیق جزء درختان میوه مقاوم به خشکی مطرح می‌باشد اما گزارش شده است که تـنش آبـی سبب کاهش عملکرد و کیفیت خشک میوه در این محصول می‌گردد. میزان مقاومت به خشکی در پسته بستگی به ژنوتیپ پیونـدک و نـوع پایه مورد استفاده متفاوت می‌باشد بنابراین ارزیابی گونه‌هـای پسـته از دید پایه و استفاده آن‌ها در برنامه‌های به‌نـژادی پسـته حـائز اهمیـت می‌باشد (Hakimnejad *et al*., 2019).

گونه‌های تربینتوس و یوریکارپا[۵] دو گونه از جنس پسته می‌باشند که در برخی از مناطق پسته‌کاری ترکیه به‌عنوان پایه استفاده می‌شود. بررسی‌ها نشان می‌دهد که این دو پایه مقاومت خوبی به تنش خشکی دارند (Karimi, 2015). گیجونا و همکاران (Gijóna *et al*., 2010) در پژوهشی گلخانه‌ای سه پایـه پسـته (تربینتـوس، آتلانتیکـا و پایـه هیبرید (ورا× آتلانتیکا) را تحت تنش خشکی مورد بررسی قرار دادنـد

۱، ۲ و ۳- بـه‌ترتیـب دانشـجوی کارشناسـی ارشـد، اسـتاد و دانشـیار گـروه علـوم باغبانی، دانشـکده کشـاورزی، دانشـگاه ولـی عصـر (عـج) رفسـنجان، رفسـنجان، ایران
(*- نویسنده مسئول: Email: h.karimi214@vru.ac.ir)
۴- دانشـیار گـروه ژنتیـک و تولیـدات گیـاهی، دانشـکده کشـاورزی، دانشـگاه ولی عصر (عج) رفسنجان، رفسنجان، ایران
https://doi.org/10.22067/jhs.2023.74905.1131

5- *P. terebinthus* L.

6- *P. eurycarpa* syn. *P. atlantica* sub sp. *Kurdica*

و گزارش دادند که تنش آبی به‌طور قابل توجهی سطح برگ پایه‌های مورد بررسی را کاهش داد به‌طوری‌که بیش‌ترین و کم‌ترین کاهش سطح برگ به‌ترتیب متعلق به پایه‌های هیبرید و تریبنتوس بود. هم‌چنین نوگرا-آرتیاگا و همکاران (Noguera-Artiaga et al., 2018) در پژوهشی سه پایه پسته آتلانتیکا، اینتگریما و تریبنتوس را در سه سطح خشکی (صفر، ۱/۵- و ۲- مگاپاسکال) مورد ارزیابی قرار دادند و گزارش کردند که شرایط تنش آبی سبب افزایش چشمگیر در میزان ترکیبات فنلی (۱۰ درصد نسبت به شاهد) به‌خصوص در گونه تریبنتوس گردید. در پژوهشی دیگر روابط آبی گونه تریبنتوس در شرایط کمبود آب مورد ارزیابی قرار گرفت و مشخص شد که این گونه محتوای نسبی آب خود را در سطوح پایین و متوسط خشکی حفظ کرد و کاهش این پارامتر تنها در تنش شدید کمبود آب مشاهده شد (Sakcali & Ozturk, 2003). باتوجه به این که اکثر مناطق پسته‌کاری ایران در مناطق خشک و نیمه‌خشک کشور قرار دارد و در این مناطق کمیت و کیفیت پایین آب آبیاری عامل اصلی محدود کننده تولید محصول می‌باشد بنابراین یکی از اهداف به‌نژادی پایه‌های پسته علاوه‌بر پر رشد بودن مقاومت به تنش‌های محیطی می‌باشد. پژوهش‌های چندی در زمینه به‌نژادی پسته از طریق تلاقی درون گونه‌ای و بین‌گونه‌ای صورت گرفته است. نتایج مطالعه‌ی مالکی و کریمی (Maliki Kouhbanani & Karimi, 2012) بر روی سه پایه پسته (‘قزوینی’، ‘بادامی ریز زرند’و هیبرید) با سه سطح خشکی نشان داد که پایه هیبرید از رشد بهتری تحت تنش خشکی برخوردار بوده و ماده خشک بالاتری (۱/۳ برابر نسبت به پایه ‘قزوینی’) تولید نموده است. ایشان هم‌چنین گزارش کردند که پایه هیبرید به‌علت تولید ماده خشک بیش‌تر وکارایی مصرف آب بالاتر نسبت به پایه قزوینی و ‘بادامی ریز زرند’ در شرایط تنش خشکی متحمل‌تر می باشد. در مطالعه‌ای جمعه یزدیان و همکاران (Jomaeazdean et al., 2019) ضمن بررسی سه سطح خشکی (۴، ۸ و ۱۲ روز) بر روی دو پایه (‘بادامی ریز زرند’ و نتاج حاصل از تلاقی دو والد امیدبخش) گزارش کردند که با افزایش دور آبیاری پارامترهای F_V/F_M و محتوای نسبی آب برگ‌ها به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. به‌گونه‌ای که در بالاترین سطح خشکی پایه هیبرید داری بیش‌ترین میزان محتوای نسبی آب برگ بود. نتایج پژوهش جمشیدی گوهریزی (Jamshidi Goharrizi, 2020) روی چهار پایه پسته UCB-1، ‘بادامی’، ‘قزوینی’ و ‘کله قوچی’ نشان داد که میزان پرولین و کربوهیدرات‌های محلول با افزایش دور آبیاری افزایش یافت در حالی که محتوای پروتئین به‌طور معنی‌داری کاهش یافت. واکنش دانهال‌های پسته ‘بادامی ریز زرند’، ‘قزوینی’، سرخس و بنه به تنش خشکی توسط قاسمی و همکاران (Ghasemi et al., 2016) مورد بررسی قرار گرفته است و گزارش شده است که با افزایش دور آبیاری غلظت عناصر پتاسیم و آهن برگ افزایش یافت اما غلظت کلسیم و منیزیم در برگ و ریشه و هم‌چنین پتاسیم و آهن ریشه کاهش پیدا کرد. از آن‌جایی که تا کنون هیچ گونه مقایسه‌ای بین پایه‌های بومی پسته ایران با پایه‌های تربینتوس و یوریکارپا در زمینه خشکی صورت نگرفته است در این پژوهش ضمن مقایسه پایه یوریکارپا با پایه‌های ‘قزوینی’ و ‘بادامی ریز زرند’ به تنش خشکی هیبرید بین گونه‌ای تربینتوس و ورا به تنش خشکی مورد ارزیابی قرار گرفت.

مواد و روش‌ها

این پژوهش در سال ۱۳۹۹ در شرایط گلخانه برروی سه پایه ‘قزوینی’، ‘بادامی ریز زرند’، یوریکارپا و دورگه بین‌گونه‌ای ورا × تربینتوس انجام شد. ابتدا بذور گونه یوریکارپا با هیپو کلریت سدیم ۵ درصد به‌مدت ۱۵ دقیقه ضدعفونی شدند و پس از خیسانیدن در آب به مدت ۴۸ ساعت داخل کیسه‌های پارچه‌ای مرطوب در دمای ۴ درجه سانتی‌گراد به‌مدت ۲ ماه نگه‌داری شدند. همزمان با پایان نیاز سرمایی بذور یوریکارپا، بذور ‘بادامی ریز زرند’، ‘قزوینی’ و هیبرید حاصل از دو ژنوتیپ TA3 (گونه تربینتوس) و Ah13 (گونه ورا) طبق روش فوق ضدعفونی شدند و به‌همراه بذور یوریکارپا جهت جوانه‌زنی در دمای ۲۵ درجه سانتی‌گراد در اتاقک رشد قرار داده شدند. بعد از جوانه‌زنی بذور، آن‌ها در گلدان‌های ۲/۵ کیلوگرمی حاوی کوکوپیت و پرلایت و ماسه (با نسبت ۱:۱:۱) و به تعداد پنج بذر در هر گلدان کشت شدند که بعد از کشت به سه عدد در هر گلدان تقلیل داده شد. در طول رشد رویشی ۱۲ ماهه، دانهال‌ها هر دو هفته یک‌بار با محلول نیم غلظت هوگلند آبیاری شدند. تیمارهای مختلف آبیاری به مدت ۴۵ روز بر روی دانهال‌های یکساله اعمال شدند. آزمایش به‌صورت فاکتوریل در قالب طرح کاملاً تصادفی با دو فاکتور خشکی (۳، ۶ و ۹ روز دور آبیاری) و پایه (‘قزوینی’، ‘بادامی ریز زرند’، یوریکارپا و دورگه بین گونه‌ای ورا × تربینتوس) به اجرا درآمد. در هر دور آبیاری گلدان‌ها به میزان ۵۰۰ میلی‌لیتر آبیاری شدند. هر تیمار شامل ۳ تکرار و هر تکرار شامل یک گلدان حاوی سه دانهال بود. به این منظور در هر گلدان ۶ بذر کشت شد که بعد از سبز شدن دانهال‌ها، سه عدد دانهال یکنواخت در هر گلدان نگه داشته شد و بقیه حذف شدند. در پایان آزمایش، شاخص‌های رشدی (تعداد برگ، سطح برگ، ارتفاع ساقه و همچنین قطر ساقه در ارتفاع یک سانتی‌متری سطح خاک، وزن تر و خشک برگ، وزن تر و خشک اندام هوایی و وزن تر و خشک ریشه) فیزیولوژیکی و بیوشیمیایی (فلورسانس کلروفیل (F_V/F_M)، سبزینگی، شاخص عملکرد (PI)، رنگیزه‌های گیاهی (کلروفیل a، b، کل و کاروتنوئیدها)، محتوای نسبی آب برگ، پرولین، کربوهیدرات‌های محلول، و ترکیبات فنلی) و هم‌چنین عناصر غذایی کلسیم، منیزیم، پتاسیم و آهن اندازه‌گیری شد. سطح برگ با استفاده از دستگاه سنجش سطح برگ مدل CI202 اندازه‌گیری شد. شاخص فلورسانس

کلروفیل نیـز بـا دسـتگاه Hansatech LTDPocket PEA در برگ‌های جوان مورد سنجش قرار گرفت. محتوای نسبی آب برگ با روش وایت هوس (Whitehouse, 1975) و رنگیزه‌هـای گیـاهی بـا اسـتفاده از روش پـورا (Porra *et al.*, 1989) انـدازه‌گیـری شـد. پارامترهای زیست شیمیایی شامل میزان پرولین، کربوهیدرات محلول و ترکیبات فنلی بود که میزان پـرولین بـرگ توسـط روش پـاکوین و لیچاسور (Paquin & Lechasseur, 1979)، مقدار کربوهیدرات‌هـای محلـول بـا روش ایرگـون (Irigoyen *et al.*, 1992) و محتـوای ترکیبات فنلی با روش اسفندیار اوغلـو و ذاکـر (Isfendiyaroglu & Zeker, 2002) محاسبه گردید. برای اندازه‌گیری عناصر غذایی ابتـدا ۰/۵ گرم از ریشه و اندام هوایی خشـک و آسـیاب شـدند و سـپس در کوره با دمای ۵۵۰ درجه سلسیوس به‌مدت سه ساعت قـرار داده شـد تا نمونه‌ها به خاکستر تبدیل شدند. سپس ۵ میلی‌لیتر اسـیدکلریدریک دو نرمال به هر نمونه افزوده شد و در پایان توسط آب مقطر به حجـم ۵۰ میلی‌لیتر رسانیده شد. این عصاره به‌طور مستقیم جهت اندازه‌گیری عناصر پتاسیم و آهن استفاده شد. به‌منظور اندازه‌گیری عنصر پتاسـیم از دستگاه فلیم فتومتر (PFP7, Germany) و برای اندازه‌گیری آهـن از دستگاه جذب اتمیک (Australia, PM-Avanta-G) استفاده شـد. عناصر کلسیم و منیزیم نیز با استفاده از روش تیتراسیون اندازه‌گیـری شدند (Galindo *et al.*, 2017). در پایـان آزمـایش، آنـالیز واریـانس (ANOVA) توسط نرم‌افزار SAS نسـخه ۹/۴ و هـم‌چنـین مقایسـه میانگین داده‌ها با استفاده از آزمـون چنـد دامنـه‌ای دانکـن در سـطح احتمال ۵٪ صورت پذیرفت.

نتایج و بحث

ارتفاع دانهال

براساس نتایج جدول تجزیه واریانس داده‌ها، تنها اثر تیمار خشکی بر ارتفاع دانهال از نظر آماری در سطح یک درصـد معنـی‌دار شـد. بـا توجه به نتایج مقایسه میانگین‌ها تنش خشکی باعـث کـاهش ارتفـاع دانهال‌ها شد به‌طوری‌که بیش‌ترین میزان ارتفاع مربوط به تیمار شاهد (دور آبیاری ۳ روز) و کم‌تـرین آن مربـوط بـه دور آبیـاری ۹ روز بـود اگرچه بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز از نظـر آمـاری اخـتلاف معنـی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱).

قطر ساقه

نتایج حاصل از جدول تجزیه واریانس داده‌هـا نشـان داد کـه اثـر ساده خشکی و پایه در سطح احتمال یک درصد بر قطر ساقه معنی‌دار شد و برهمکنش خشکی و پایه تأثیری بر قطر ساقه نداشـت (جـدول ۴-۱). براساس نتایج مقایسه میانگین‌ها با افزایش خشکی قطر سـاقه کاهش یافت به گونه‌ای که کم‌ترین میزان قطر ساقه در دور آبیاری ۹ روز مشاهده شد. مقایسه میـانگین پایـه‌هـای مختلـف نشـان داد کـه بیش‌ترین میزان قطر ساقه متعلق به پایه هیبرید و کم‌ترین آن متعلق به پایه 'بادامی ریز زرند' بود اگرچـه بـین پایـه 'بـادامی ریـز زرنـد' و یوریکارپا تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (جدول ۱).

تعداد برگ

براساس نتایج تجزیه واریانس اثر متقابـل تیمارهـای خشـکی و پایه بر تعداد برگ دانهال‌ها معنی‌دار نشد، اما اثـرات سـاده تیمارهـای خشکی و پایه در سطوح پنج و یک درصد معنی‌دار بودند. بـیش‌تـرین تعداد برگ در تیمار شاهد و کم‌ترین آن در دور آبیاری ۹ روز مشـاهده شد با این حال بین تیمار شاهد و دور آبیاری ۶ روز تفاوت معنـی‌داری وجود نداشت. از نظر اثر پایه بیش‌ترین تعداد بـرگ در پایـه هیبریـد و کم‌ترین تعداد برگ در پایه 'قزوینی' مشاهده گردید به‌طوری‌کـه بـین پایه 'قزوینی' با سایر پایه‌ها از نظر آماری اخـتلاف معنـی‌داری وجـود داشت (جدول ۱).

سطح برگ

نتایج تجزیه واریانس داده‌های مربوط به سطح برگ نشان داد که اثر خشکی و پایه بر سطح برگ دانهال‌های پسته در سطح یک و پنج درصد معنی‌دار شد اما برهمکنش پایه و خشـکی تـأثیر معنـی‌داری در این زمینه نداشت. نتایج حاصل از مقایسه میانگین‌ها نیز نشان داد کـه بـا افـزایش دور آبیـاری سـطح بـرگ کـاهش یافـت اگرچـه تفـاوت معنی‌داری بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز مشاهده نشد. از نظـر اثـر پایـه، بیش‌ترین سطح برگ در پایه هیبریـد و کـم‌تـرین میـزان آن در پایـه یوریکارپا مشاهده شد در حالی که تفاوت معنـی‌داری بـین پایـه‌هـای یوریکارپا و 'قزوینی' وجود نداشت (جدول ۱).

وزن تر و خشک برگ

نتایج تجزیه واریانس حاکی از آن است کـه اثـر سـاده خشـکی و پایه بر وزن تـر بـرگ در سـطح یـک درصـد معنـی‌دار شـد. مقایسـه میانگین‌ها نشان داد که وزن تر برگ با افـزایش دور آبیـاری کـاهش نشان داد اگر چه تفاوت معنی‌داری بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز مشاهده نشد. بیش‌ترین میزان وزن تر برگ در پایه هیبرید وکـم‌تـرین آن در پایه 'قزوینی' مشاهده شد. با این حال بین پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و یوریکارپا نیز تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد. نتایج هم‌چنـین نشـان داد وزن خشک برگ تحت تأثیر برهمکنش خشکی و پایه قرار گرفت به‌طوری‌که با افزایش سطوح خشکی در هر چهار پایـه مـورد مطالعـه وزن خشک برگ کاهش یافت. در پایه یوریکارپا وزن خشک برگ در دور آبیـاری ۹ روز نسـبت بـه دور آبیـاری ۶ روز تفـاوت معنـی‌داری نداشت. در دور آبیاری ۹ روز، بیش‌ترین میزان کاهش وزن تـر بـرگ

مربوط به پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و هیبرید و کم‌ترین مقدار کاهش در پایه هیبرید مشاهده شداگرچه در این سطح بین پایه‌های هیبرید و یوریکارپا تفاوت معنی‌داری وجود نداشت (داده‌ها نشان داده نشده است).

جدول ۱- اثر متقابل سطوح تنش خشکی × پایه بر شاخص‌های رویشی دانهال‌های پسته

Table 1- The interaction effect of drought stress ×rootstocks on vegetative parameters of pistachio seedlings

تیمار Treatment	سطوح Levels	ارتفاع نهال Seedling height (cm)	قطر ساقه Stem diameter (cm)	تعداد برگ Number of leaves	سطح برگ Leaf area (cm)
خشکی Drought	D_1	16.076 ± 0.732 [a]	1.802 ± 0.031 [a]	14.833 ± 1.471 [a]	6.258 ± 0.460 [a]
	D_2	12.400 ± 0.439 [b]	1.645 ± 0.042 [b]	13.083 ± 1.844 [ab]	5.441 ± 0.454 [b]
	D_3	11.803 ± 0.632 [b]	1.503 ± 0.062 [c]	11.916 ± 1.671 [b]	5.100 ± 0.446 [b]
پایه Rootstock	B	14.270 ± 1.385	1.555 ± 0.076 [c]	10.888 ± 0.753 [c]	5.811 ± 0.343 [b]
	U	13.751 ± 1.015	1.560 ± 0.070 [c]	15.777 ± 1.341 [b]	4.433 ± 0.258 [c]
	H	12.205 ±0.500	1.811 ± 0.042 [a]	19.888 ± 0.873 [a]	7.644 ± 0.401 [a]
	G	13.481 ± 0.606	1.674 ± 0.038 [b]	6.555 ± 0.555 [d]	4.511 ± 0.240 [c]

در هرستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح ۵ درصد آزمون دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

D_1: شاهد (دور آبیاری سه روز)، D_2 : دور آبیاری ۶ روز، D_3: دور آبیاری ۹ روز، B: 'بادامی ریز زرند' ، U: یوریکارپا، H: هیبرید، G: 'قزوینی'

Mean values with similar letters in each column are not significantly different at 5% of probability level using Duncan's multiple range test.

D_1: Control (3 days irrigation period), D_2: (6 days irrigation period), D_3: (9 days irrigation period), B: Badami- e- Riz-e-Zarand, U: Eurycarpa, H: Hybrid, G: Ghazvini.

وزن تر و خشک ریشه

براساس نتایج تجزیه واریانس، اثرات ساده خشکی و پایه بر وزن تر ریشه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. با افزایش دور آبیاری وزن تر ریشه دانهال‌ها نسبت به شاهد کاهش معنی‌داری نشان داد به‌گونه‌ای که بیش‌ترین وزن تر ریشه در پایه هیبرید و کم‌ترین مقدار آن در پایه یوریکارپا مشاهده شد اگرچه تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و 'قزوینی' دیده نشد. نتایج هم‌چنین نشان داد که برهمکنش خشکی و نوع پایه بر وزن خشک ریشه معنی‌دار بود. با افزایش دور آبیاری وزن تر ریشه کاهش داشت در صورتی که در دور آبیاری ۶ روز، پایه یوریکارپا تفاوت معنی‌داری نسبت به شاهد نداشت. در دور آبیاری ۹ روز، پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و هیبرید با ۷۱/۱۷ و ۵۳/۷۷ درصد کاهش وزن خشک ریشه نسبت به تیمار شاهد به‌ترتیب کم‌ترین و بیش‌ترین میزان وزن خشک ریشه را داشتند. اگرچه در این سطح خشکی بین پایه‌های یوریکارپا و 'قزوینی' تفاوت معنی‌داری مشاهده نشد (داده‌ها نشان داده نشده است).

وزن تر و خشک اندام هوایی

طبق نتایج تجزیه واریانس داده‌ها، اثر ساده پایه بر وزن تر اندام هوایی در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که بیش‌ترین وزن تر اندام هوایی در پایه‌های هیبرید و 'بادامی ریز زرند' و کم‌ترین میزان آن در پایه 'قزوینی' مشاهده شد. نتایج هم‌چنین حاکی از آن بود که وزن خشک اندام هوایی تحت تأثیر خشکی و نوع پایه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. بر اساس نتایج مقایسه میانگین‌ها، سطوح مختلف خشکی تأثیر معنی‌دار بر وزن خشک اندام هوایی داشت به‌طوری‌که کم‌ترین مقدار آن در دور آبیاری ۹ روز دیده شد. بالاترین میزان وزن خشک اندام هوایی مربوط به پایه هیبرید بود در حالی‌که پایه‌های یوریکارپا و 'قزوینی' در این زمینه در پایین‌ترین وضعیت قرار داشتند (داده‌ها نشان داده نشده است).

براساس نتایج حاصل از این پژوهش، ویژگی‌های رویشی مانند ارتفاع گیاه، قطر ساقه، تعداد و سطح برگ، وزن تر برگ و ریشه و هم‌چنین وزن خشک برگ و ریشه تحت تأثیر دور آبیاری واقع شدند و سطوح متفاوت تنش منجر به کاهش آن‌ها گردید. به‌طور کلی اولین واکنش گیاهان در برابر تنش خشکی، کاهش رشد رویشی می‌باشد. پژوهشگران زیادی گزارش کرده‌اند که با افزایش دور آبیاری ارتفاع و قطر ساقه دانهال‌های پسته با کاهش معنی‌داری روبرو می‌شود (Gijóna et al., 2010; Maliki Kouhbanani & Karimi, 2012). این کاهش را می‌توان به کاهش فشار تورژسانس و طویل نشدن سلول‌ها تحت تنش نسبت داد (Shao et al., 2008). هم‌چنین گزارش شده است که کاهش سطح و تعداد برگ در شرایط تنش خشکی می‌تواند به‌علت کاهش پتانسیل آب خاک، کاهش جذب عناصر غذایی و اختلال در فرآیند فتوسنتز باشد (Abbasi et al., 2013). باقری و همکاران (Bagheri et al., 2011) اثر تنش

خشکی بر روی ارقام پسته 'قزوینی' و 'بادامی ریز زرند' را مورد بررسی قرار دادند و گزارش کردند که وزن تر و خشک برگ، ریشه و اندام هوایی با افزایش خشکی به‌طور معنی‌داری کاهش می‌یابد و علت این کاهش را توقف رشد و تقسیم سلولی، فشار پایین تورژسانس، کاهش محتوای کلروفیل و اختلال در انتقال مواد غذایی دانستند. در پژوهش حاضر پایه‌های هیبرید و یوریکارپا نسبت به پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و 'قزوینی' کم‌ترین میزان حساسیت را از لحاظ پارامترهای رویشی ذکر شده نشان دادند که نشان‌دهنده تأثیرپذیری کم‌تر پایه‌های هیبرید و یوریکارپا نسبت به سایر پایه‌ها از خشکی است. نتیجه‌های ما با نتیجه‌های سلاجقه و همکاران (Salajagha *et al.*, 2015) مبنی بر کاهش پارامترهای رویشی در دانهال‌های پسته همسو بود.

شاخص‌های فتوسنتزی

کلروفیل a، b و کل

نتایج تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثر ساده خشکی، پایه و برهمکنش خشکی و پایه بر محتوای کلروفیل‌ها (کلروفیل a، b و کل) در سطح احتمال یک درصد معنی‌دار شد. نتیجه‌ها نشان داد که تنش خشکی منجر به کاهش میزان کلروفیل a گردید با این حال در پایه‌های یوریکارپا و هیبرید تفاوت معنی‌داری بین دور آبیاری ۶ روز و تیمار شاهد مشاهده نشد. با افزایش سطح تنش به دور آبیاری ۹ روز، میزان کلروفیل a در پایه یوریکارپا افزایش نشان داد در حالی‌که در سایر پایه‌ها با کاهش همراه بود. بالاترین میزان کلروفیل a در پایه هیبرید و کم‌ترین آن در پایه 'قزوینی' دیده شد با این وجود پایه‌های 'قزوینی' و 'بادامی ریز زرند' تفاوت معنی‌داری نداشتند. طبق نتایج مقایسه میانگین‌ها افزایش سطح خشکی به دور آبیاری ۹ روز منجر به کاهش میزان کلروفیل b گردید که در این سطح پایه‌های یوریکارپا و هیبرید بیش‌ترین محتوای کلروفیل و پایه 'قزوینی' کم‌ترین مقدار آن را دارابود هرچند که پایه 'قزوینی' تفاوت معنی‌داری با پایه هیبرید نداشت. نتایج هم‌چنین نشان داد تنش خشکی در دور آبیاری ۶ روز سبب کاهش میزان کلروفیل کل در پایه‌های یوریکارپا و 'قزوینی' شد در صورتی‌که پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و هیبرید تغییر معنی‌داری با شاهد نداشتند. افزایش شدت تنش در دور آبیاری ۹ روز کاهش غلظت کلروفیل کل در تمام پایه‌ها را به‌همراه داشت به‌طوری‌که پایه‌های یوریکارپا و 'قزوینی' به‌ترتیب بیش‌ترین و کم‌ترین مقدار کلروفیل کل را داشتند (شکل ۱).

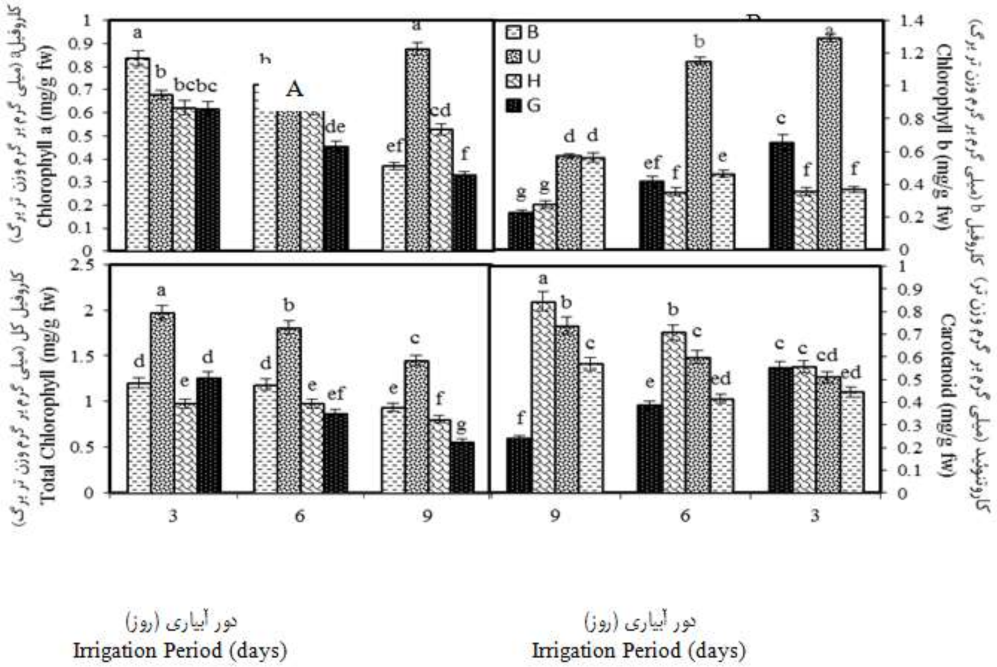
کاروتنوئیدها

نتیجه‌های حاصل از تجزیه واریانس داده‌ها نشان داد که اثرات ساده خشکی، پایه و هم‌چنین برهمکنش خشکی و پایه بر میزان کاروتنوئیدها در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتیجه‌های مقایسه میانگین‌ها حاکی از آن بود که تنش خشکی در دور آبیاری ۶ روز باعث افزایش میزان کاروتنوئیدها در پایه‌های یوریکارپا و هیبرید گردید در حالی‌که در پایه 'قزوینی' از غلظت کاروتنوئیدها کاسته شد. کارتنوئید برگ پایه 'بادامی ریز زرند' نیز تحت تأثیر دور آبیاری واقع نشد. این در حالی است که بین پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و 'قزوینی' تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. با افزایش دور آبیاری و در دور آبیاری ۹ روز، میزان کاروتنوئیدها در پایه 'قزوینی' روند نزولی داشت در صورتی‌که در دیگر پایه‌ها به‌طور معنی‌داری افزایش یافت. در این سطح از خشکی پایه هیبرید با ۵۱/۷۹ درصد افزایش نسبت به تیمار شاهد میزان کاروتنوئید بالاتری نشان داد و دارای اختلاف معنی‌داری با سایر پایه‌های مورد مطالعه بود (شکل ۱). گزارش شده است که در اثر تنش خشکی محتوای کلروفیل (کلروفیل a، b و کل) کاهش می‌یابد (Ranjbar, 2017). یکی از دلیل‌های کاهش کلروفیل در این پژوهش می‌تواند مربوط به تجزیه کلروفیل به دلیل افزایش فعالیت آنزیم کلروفیلاز باشد. با توجه به این که گلوتامات پیش ماده مشترک کلروفیل و پرولین می‌باشد و در شرایط کمبود آب غلظت پرولین برگ افزایش پیدا می‌یابد احتمالا یکی دیگر از دلایل کاهش محتوای کلروفیل‌ها، می‌تواند افزایش سنتز پرولین باشد (Khalid, 2006). در پژوهش حاضر علت افزایش کلروفیل a دردور آبیاری ۹ روز در پایه یوریکارپا کاهش سطح برگ به‌ویژه در بالاترین سطح تنش می‌باشد که موجب افزایش تراکم کلروپلاست در واحد سطح شده و هم‌چنین افزایش کلروفیل می‌گردد (Munns, 2002). به‌طور کلی پایه‌های یوریکارپا و هیبرید نسبت به سایر پایه‌ها از حساسیت کم‌تری برخوردار بودند و کم‌ترین میزان کاهش را نشان دادند و بیش‌ترین میزان کاهش در محتوای رنگدانه‌ها نیز متعلق به پایه 'قزوینی' بود. افزایش غلظت کاروتنوئیدها در پژوهش حاضر به‌دلیل نقش حفاظتی آن‌ها می‌باشد به‌طوری‌که با دریافت انرژی زیاد طول موج‌های کوتاه و مهار رادیکال‌های اکسیژن ایجاد شده به‌عنوان آنتی اکسیدان عمل کنند (Ferrara *et al.*, 2008). بنابراین در این پژوهش بالاتر بودن محتوای کاروتنوئیدها در پایه هیبرید نشان‌دهنده مقاومت بالای آن در برابر تنش می‌باشد. نتایج حاضر با نتایج آزمایش مالکی و همکاران (Maliki Kouhbanani & Karimi, 2012) در دانهال‌های پسته همخوانی دارد.

شاخص سبزینگی، فلورسانس کلروفیل (F_V/F_M) و شاخص عملکرد (PI)

نتایج تجزیه واریانس اثرات ساده خشکی و پایه بر شاخص‌های سبزینگی، F_V/F_M و PI در سطح یک درصد معنی‌دار شد. نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری شاخص سبزینگی کاهش یافت به‌طوری

که کم‌ترین میزان آن در دور آبیاری ۹ روز مشاهده گردید اگرچه بـین دور آبیاری ۶ روز و تیمـار شـاهد تفـاوت معنـی‌داری مشـاهده نشـد. شاخص F_V/F_M در پایه هیبرید بالاترین مقدار بود و کم‌تـرین مقـدار آن در پایه یوریکارپا مشاهده گردید اگرچـه اخـتلاف معنـی‌داری بـین پایه‌های هیبرید، ʻقزوینیʻ و ʻبادامی ریز زرندʻ مشـاهده نشـد (جـدول ۲).



شکل ۱- برهمکنش پایه × دور آبیاری بر رنگریزه‌های برگ دانهال‌های پسته

به‌ترتیب از چپ به راست: کلروفیل a، کلروفیل b، کلروفیل کل و کاروتنوئیدها: ʻبادامی ریز زرندʻ (B)، یوریکارپا (U)، هیبرید (H)، ʻقزوینیʻ (G).

Figure 1- The interaction effect of drought ×rootstock on the leaf pigments of pistachio seedlings

Left to right respectively: chlorophyll a, chlorophyll b, total chlorophyll and carotenoid; Badami-Riz-e- Zarand (B), Eurycarpa (U), Hybrid (H) and Ghazvini (G)(LSD, $p \leq 0.05$).

جدول ۲- تأثیر سطوح تنش خشکی و نوع پایه برشاخص‌های اکوفیزیولوژیکی و زیست شیمیایی دانهال‌های پسته

Table 2- The effect of drought stress levels and rootstocks on ecophysiological and biochemical parameter of pistachio seedlings

تیمار Treatment	سطوح Levels	سبزینگی SPAD	F_V/F_M	محتوای نسبی آب RWC (%)	قندهای محلول Soluble sugars ($mg.g^{-1}$ FW)
خشکی Drought	D_1	61.600 ± 2.010 [a]	0.795 ± 0.004 [a]	80.072 ± 1.341 [a]	0.975 ± 0.102 [a]
	D_2	57.588 ± 2.457 [a]	0.761 ± 0.017[ab]	66.943 ± 2.986 [b]	1.317 ± 0.128 [b]
	D_3	51.100 ± 1.750 [b]	0.704 ± 0.016 [c]	61.834 ± 2.634 [b]	1.494 ± 0.108 [a]
پایه Rootstock	B	58.488 ± 2.746 [a]	0.750 ± 0.023 [ab]	61.651 ± 4.699 [b]	0.880 ± 0.082 [b]
	U	59.788 ± 3.386 [a]	0.713 ± 0.024 [b]	73.865 ± 2.424 [a]	1.641 ± 0.075 [a]
	H	57.833 ± 1.941 [a]	0.788 ± 0.011 [a]	73.182 ± 2.537 [a]	1.584 ± 0.106 [a]
	G	50.900 ± 2.170 [b]	0.762 ± 0.009 [a]	69.766 ± 3.960 [a]	0.943 ± 0.093 [b]

در هر ستون، میانگین‌هایی که دارای حروف مشترک هستند در سطح احتمال ۵ درصد آزمون چنددامنه‌ای دانکن اختلاف معنی‌داری ندارند.

D_1: شاهد (دور آبیاری سه روز)، D_2 : دور آبیاری ۶ روز، D_3: دور آبیاری ۹ روز، B: ʻبادامی ریز زرندʻ، U: یوریکارپا، H: هیبرید، G: ʻقزوینیʻ

Mean values with similar letters in each column are not significantly different at 5% level of probability using Duncan's multiple range test.

D_1: Control (3 days irrigation period), D_2: (6 days irrigation period), D_3: (9 days irrigation period), B: Badami- e- Riz-e-Zarand, U: Eurycarpa, H: Hybrid, G: Ghazvini.

کاهش شاخص سبزینگی (SPAD) و کاهش سبز بـودن گیـاه در پژوهش حاضر می‌تواند به‌علت تخریب کلروفیل در محـدودیت شـدید آبی باشد. به‌عبارتی گیاهـانی کـه شـاخص کلروفیـل بـالاتری دارنـد پایداری بیش‌تری نسبت به تنش خشکی داشته و مدت زمان اسـتفاده از تشعشع و فتوسنتز در آن‌ها افزایش پیدا مـی‌کنـد (Ghosh *et al.*, 2004). تغییـر در میـزان F_V/F_M یکـی از پاسـخ‌هـای فیزیولـوژیکی گیاهان به تنش خشکی می‌باشد که به‌عنوان یکی از روش‌های کارآمد برای سنجش میزان مقاومت گونه‌های باغی به تنش‌های محیطـی از جمله تنش خشکی به‌شمار می‌رود. در حقیقـت F_V/F_M نشـان‌دهنـده فعالیت فتوسیستم II می‌باشد کـه تحـت تـأثیر تـنش خشـکی واقـع مـی‌شـود (Fernandez *et al.*, 1997). بـر اسـاس نتـایج حاصـل از پژوهش حاضر پایه هیبرید از لحـاظ پارامترهـای سـبزینگی و F_V/F_M نسبت به سایر پایه‌های مورد آزمایش کم‌تر تحت تأثیر قرار گرفـت در حالی که پایه 'قزوینی' از حساسیت بـالاتری برخـوردار بـود. بـالاتر بودن میزان پارامترهای فوق در پایه هیبرید بیانگر مقاومـت بـیش‌تـر این پایه به تنش خشکی می‌باشد. کاهش میزان سـبزینگی و F_V/F_M تحت تنش خشکی در دانهـال‌هـای پسـته توسـط مـالکی و کریمـی (Maliki Kouhbanani & Karimi, 2012)، عباسـی و همکـاران (Abbasi *et al.*, 2013) و رنجبر (Ranjbar, 2017) گـزارش شـده است که تاییدی بر نتایج بررسی حاضر می‌باشد.

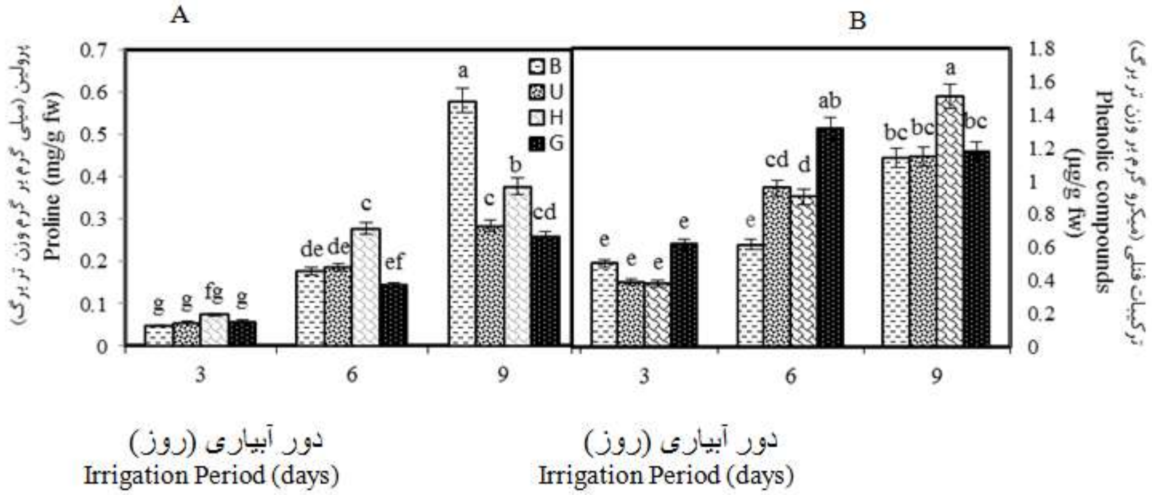
محتوای نسبی آب برگ

نتیجه‌های جـدول تجزیـه واریـانس نشـان داد کـه اثـرات سـاده خشکی و نوع پایه بر محتوای نسبی آب برگ در سطح احتمـال یـک درصد آزمون دانکن معنی‌دار می‌باشد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که کم‌ترین محتوای نسبی آب بـرگ مربـوط بـه دور آبیـاری ۹ روز بـود اگرچه بین دور آبیاری ۶ و ۹ روز تفاوت معنی‌داری مشاهده نگردید. از نظر اثر پایه، کم‌ترین محتوای آب نسبی برگ در پایه پایه 'بادامی ریز زرند' مشاهده شد. بین سایر پایه‌ها نیز از نظر آمـاری اخـتلاف معنـی داری وجود نداشت (جدول ۲). علـت کـاهش محتـوای نسـبی آب در پژوهش حاضر می‌تواند به‌دلیل کاهش رشد و فعالیـت ریشـه، انسـداد روزنه‌ها، کاهش جذب و انتقال آب توسط ریشه‌ها و افزایش تبخیـر و تعرق باشد (Reddy *et al.*, 2004). در بین پایه‌های مـورد آزمـایش، پایه‌های یوریکارپا و هیبرید محتوای نسبی آب بـالاتری نشـان دادنـد اگرچه اختلاف معنی‌داری با پایه 'قزوینـی' نداشـتند. یکـی از دلایـل افزایش محتوای نسبی آب برگ در پایه‌های فوق را می‌توان به جذب بیش‌تر آب در این دو پایه نسبت داد. از آن‌جایی که حفظ محتوای آب درونی گیاه به سیستم ریشه‌ای عمیق نیاز دارد لذا بالا بودن محتـوای نسبی آب تحت تنش می‌تواند با سیستم ریشه‌ای و رفتار روزنه‌ای گیاه در ارتباط باشد (Gupta *et al.*, 1989). نتایج بالا با نتیجه‌های باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2011) روی پسته همسو می‌باشد.

تنظیم کننده‌های اسمزی

با توجه به نتیجه تجزیه واریانس داده‌ها برهمکنش خشکی و پایه بر میزان پرولین و ترکیبات فنلی و همچنین اثرات ساده خشکی و پایه بر میزان قندهای محلول در سطح یک درصد معنـی‌دار شـد. مقایسـه میـانگین‌هـا نشـان داد در دور آبیـاری ۶ و ۹ روز بـا افـزایش سـطح خشکی، میزان پرولین برگ در تمام پایه‌ها افزایش یافت به‌طوری کـه بالاترین میزان پـرولین در دور آبیـاری ۹ روز و در پایـه 'بـادامی ریـز زرند' مشاهده شد. کم‌ترین میزان پرولین نیز در پایه 'قزوینـی' دیـده شد که تفاوت معنی‌داری با پایه یوریکارپا نداشت (شـکل ۲). افـزایش خشکی در دور آبیاری ۶ و ۹ روز تأثیر معنی‌داری بر میـزان ترکیبـات فنلـی داشـت اگرچـه در دور آبیـاری ۶ روز تفـاوت معنـی‌داری بـین پایه‌های یوریکارپا و هیبرید وجـود نداشـت. براسـاس نتـایج مقایسـه میانگین‌ها بیش‌ترین مقدار ترکیبات فنلی در دور آبیاری ۹ روز متعلـق به پایه هیبرید بود در حالی که سایر پایـه‌هـای مـورد مطالعـه تفـاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۲). نتایج همچنین نشان داد که با افـزایش سطوح خشکی از تیمار شاهد بـه دور آبیـای ۹ روز، میـزان قنـدهـای محلول افزایش یافت به گونه‌ای که بیش‌ترین میـزان آن مربـوط بـه دور آبیاری ۹ روز بود. در بین پایه‌های مورد بررسی بیش‌ترین میـزان قندهای محلول در پایه یوریکارپـا مشـاهده گردیـد اگرچـه ایـن پایـه تفاوت معنی‌داری با پایه هیبرید نداشـت. کـم‌تـرین میـزان قنـدهـای محلول نیز مربوط به پایه 'بادامی ریز زرند' بود با ایـن حـال اخـتلاف معنی‌داری بین پایه‌های 'بـادامی ریـز زرنـد' و یوریکارپـا دیـده نشـد (جدول ۲). افزایش پرولین در پژوهش حاضر احتمالا به‌دلیـل افـزایش فعالیت آنزیم‌های سنتز کننده پرولین (اورنیتین آمینوترانسفراز و پرولین ردوکتاز) و جلوگیری از فعالیت آنزیم‌های تجزیه کننده پرولین (پرولین کاتابولاز) می‌باشـد (Madan *et al.*, 1995). بـا توجـه بـه ایـن کـه پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و هیبرید پرولین بیش‌تری در شرایط تـنش تولید کردند لذا می‌توان گفـت نسـبت بـه سـایر پایـه‌هـا از مقاومـت بیش‌تری در برابر تنش برخوردار بودند. پژوهشگران گزارش کردند که تنش خشکی با تأثیر بـر فعالیـت‌هـای متـابولیکی گیـاه سـبب تولیـد متابولیت‌های ثانویه مثل فنل‌ها و مولکول‌هایی با وزن مولکولی پایین می‌شود تا که گیاه بتواند با خشکی مقابله کند. ویژگی‌های پایـه‌هـای متفاوت در بازده تولیـد بـیش‌تـر ترکیبـات فنلـی جهـت مقاومـت بـه تنش‌های محیطی مؤثر مـی‌باشـد (Boudet, 2007). دلیـل افـزایش کربوهیدرات‌های محلول در پژوهش حاضر این است کـه بـا افـزایش تنش خشکی میزان فتوسنتز و مصرف کربوهیدرات‌ها در گیاه کـاهش می‌یابد. بنـابراین افـزایش غلظـت کربوهیـدرات‌هـا (سـاکارز، گلـوکز،

فروکتوز و سوربیتول) در طی تنش به‌عنوان علامت مقاومت به کم‌آبی در نظر گرفته می‌شود که همبستگی نزدیکی با تنظیم اسمزی، حفظ تورژسانس سلول‌ها و پایداری پروتئین‌ها دارد (Irigoyen *et al.*, 1992). با توجه به نتایج حاضر می‌توان بیان کرد که پایه‌های هیبرید و یوریکارپا از تنظیم اسمزی بهتری در شرایط تنش نسبت به سایر پایه‌ها برخوردار بودند. باقری و همکاران (Bagheri *et al.*, 2011) گزارش کردند که با افزایش تنش خشکی، غلظت پرولین، قندهای احیاکننده و ترکیبات فنلی در برگ دانهال‌های پسته افزایش یافت که نتیجه‌های پژوهش بالا با این یافته‌ها مطابقت دارد.



شکل ۲– برهمکنش خشکی × پایه بر محتوای پرولین (A) و ترکیبات فنلی برگ دانهال‌های پسته: (B) در پایه‌های 'بادامی ریز زرند' (B)، یوریکارپا (U)، هیبرید (H)، 'قزوینی' (G)

Figure 2- The interaction of drought stress levels ×rootstock on the content of proline (A) and phenolic compounds (B) in leaves of pistachio seedlings: Badami-Riz-e- Zarand (B), Eurycarpa (U), Hybrid (H) and Ghazvini (G)(LSD, *p≤0.05*)

عناصر غذایی

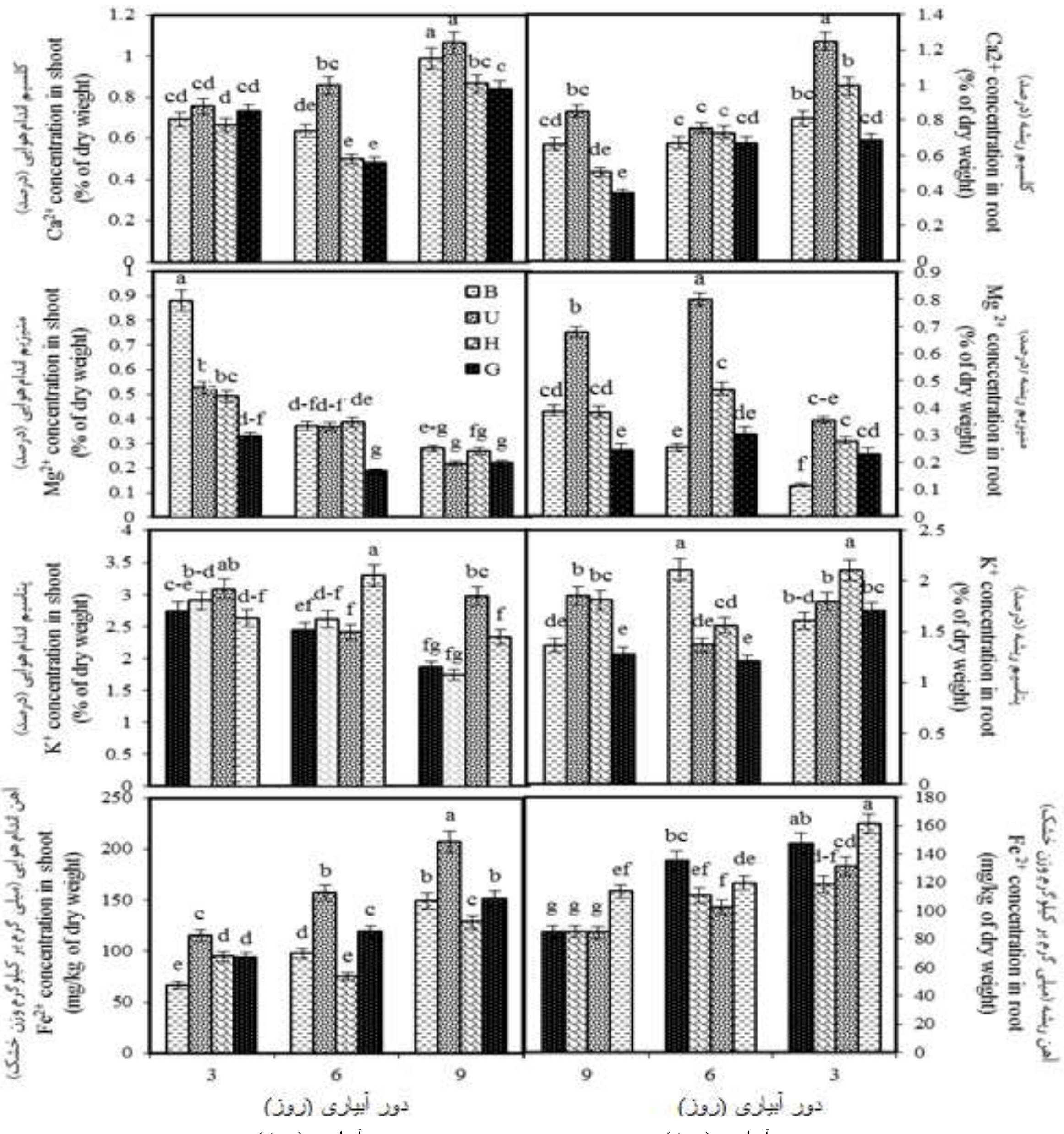
کلسیم

براساس نتیجه‌های تجزیه واریانس غلظت کلسیم اندام هوایی و ریشه تحت تأثیر برهمکنش خشکی و پایه در سطح یک درصد معنی‌دار شد. مقایسه میانگین‌ها نشان داد که با افزایش سطح تنش به دور آبیاری ۹ روز، غلظت کلسیم اندام هوایی در تمام پایه‌های مورد مطالعه نسبت به شاهد افزایش یافت. بالاترین غلظت کلسیم اندام هوایی در دور آبیاری ۹ روز در پایه یوریکارپا و کم‌ترین میزان آن در پایه‌های هیبرید و 'قزوینی' مشاهده شد. نتایج همچنین نشان داد با افزایش دور آبیاری به ۹ روز میزان کلسیم ریشه در تمام پایه‌ها به‌طور معنی‌داری نسبت به شاهد افزایش یافت. در این سطح از خشکی، بیش‌ترین مقدار کلسیم ریشه مربوط به پایه‌های یوریکارپا و هیبرید و کم‌ترین میزان آن مربوط به پایه 'قزوینی' بود (شکل ۳). افزایش غلظت کلسیم در پژوهش حاضر می‌تواند به‌علت کاهش رشد و افزایش میزان کلسیم در واحد وزن باشد به‌طوری که در ارقام مقاوم به تنش میزان کلسیم نسبت به سایر ارقام بیش‌تر می‌باشد (Mozaffari, 2005). نتیجه‌های ما با نتیجه‌های مالکی کوهبنانی و کریمی (Maliki Kouhbanani & Karimi, 2012) روی ژنوتیپ‌های مختلف پسته در طی تنش خشکی مطابقت دارد.

منیزیم

با توجه به جدول تجزیه واریانس، اثرات ساده خشکی، پایه و اثر متقابل خشکی و پایه در سطح احتمال یک درصد بر غلظت منیزیم اندام هوایی و ریشه معنی‌دار شد. تنش خشکی سبب کاهش معنی‌داری در غلظت منیزیم اندام هوایی هر چهار پایه شد. در دور آبیاری ۹ روز، پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و هیبرید بیش‌ترین میزان منیزیم اندام هوایی و پایه‌های یوریکارپا و 'قزوینی' با کم‌ترین میزان منیزیم را داشتند. همچنین نتایج نشان داد که با افزایش دور آبیاری به دور آبیاری ۶ روز غلظت منیزیم ریشه در پایه‌های مختلف متفاوت بود به‌طوری‌که در پایه 'بادامی ریز زرند' با افزایش دور آبیاری غلظت منیزیم ریشه به‌طور معنی‌داری کاهش یافت در حالی‌که در سایر پایه‌ها افزایش پیدا کرد اگرچه بین پایه‌های 'بادامی ریز زرند' و 'قزوینی' تفاوت معنی‌داری وجود نداشت. در دور آبیاری ۹ روز)، میزان منیزیم ریشه در پایه‌های 'بادامی ریز زرند'، یوریکارپا و هیبرید کاهش معنی‌داری نسبت به شاهد نشان دادند در صورتی که درپایه 'قزوینی' تغییر معنی‌داری نسبت به شاهد دیده نشد. این در حالی است که بین

پایه‌های هیبرید و 'قزوینی' اختلاف معنـی‌داری مشـاهده نگردیـد. در دور آبیاری ۹ روز پایه‌های یوریکارپا و 'بادامی ریز زرند' بـه‌ترتیـب بـا ۴۶/۳۲ و ۷۰/۲۵ درصد کاهش نسبت بـه تیمـار شـاهد بـیش‌تـرین و کم‌ترین غلظت منیزیم ریشه را نشان دادند (شکل ۳).



شکل ۳– برهمکنش خشکی × پایه بر محتوی عناصر غذایی دانهال‌های پسته

به‌ترتیب از بالا به پایین: کلسیم اندام هوایی و ریشه، منیزیم اندام هوایی و ریشه ، پتاسیم اندام هوایی و ریشه، آهن اندام هوایی و ریشه . 'بادامی ریز زرند' (B)، یوریکارپا (U)، هیبرید (H)، 'قزوینی' (G).

Figure 3- The interaction effect of drought stress ×rootstock on the elements content of pistachio seedlings

Upper to down respectively: Ca^{2+} in shoot and root, Mg^{2+} in shoot and root, K^{+} in shoot and root, Fe^{2+} in shoot and root: Badami-Riz-e- Zarand (B), Eurycarpa (U), Hybrid (H) and Ghazvini (G) (LSD, $p\leq 0.05$).

علت کاهش غلظت منیزیم را می‌توان بـه کـاهش حلالیـت ایـن عنصر در بستر کشت در طی تنش خشکی و هم‌چنین کاهش رشـد و توسعه ریشه در اثر تنش نسبت داد که جذب منیزیم را کاهش می‌دهد (Bilger, *et al*., 1984).کاهش غلظت منیزیم با افزایش دور آبیـاری توسـط قاسـمی و همکـاران (Jamshidi Goharrizi *et al*., 2020) گزارش شده است که با نتایج پژوهش حاضر هم‌خوانی دارد.

پتاسیم

براساس نتایج تجزیه واریانس، برهمکنش خشکی و پایه بر مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه معنی‌دار بود. با افزایش سطح خشـکی بـه دور آبیاری ۹ روز مقدار پتاسیم اندام هوایی و ریشه در پایه‌های مـورد بررسی نسبت به تیمار شاهد افزایش یافت اگرچه میزان پتاسیم ریشـه در پایه یوریکارپا تغییر معنی‌دای نسبت به تیمار شاهد نشـان نـداد. در دور آبیاری ۹ روز، بـیش‌تـرین غلظـت پتاسـیم انـدام هـوایی در پایـه یوریکارپا مشاهده شد و کم‌ترین غلظت آن مربوط به پایه 'بادامی ریز زرند' بود در حالی که بین سایر پایه‌ها تفاوت معنی‌داری در این زمینه وجود نداشت (شکل ۳). دلیل افزایش جذب پتاسـیم در هنگـام تـنش خشکی جذب فعال این عنصـر مـی‌باشـد. چـرا کـه در هنگـام تـنش خشکی، گیاه جهت افزایش تحمل به تنش، حفـظ هـدایت روزنـه‌ای، تورژسانس و همچنین تنظیم اسمزی، با مصرف انرژی جذب پتاسـیم را در ریشه و اندام هوایی افزایش می‌دهد (Galindo *et al*., 2017 ; Gupta *et al*., 1989). پژوهش حاضر همسوی با یافتـه‌هـای دیگـر پژوهشگران (Fattahi *et al*., Jamshidi Goharrizi *et al*., 2020; 2020) مبنی بر افزایش جذب پتاسیم تحت تنش خشکی می‌باشد.

آهن

طبق نتایج تجزیه واریانس، غلظت آهن اندام هوایی و ریشه تحت تأثیر برهمکنش خشکی در سـطح یـک درصـد معنـی‌دار شـد. نتـایج مقایسه میانگین‌ها نشان داد که در دور آبیاری ۹ روز میزان آهن اندام هوایی در هر چهار پایه به‌طور معنـی‌داری نسـبت بـه شـاهد افـزایش یافت و در این سطح بیش‌ترین و کم‌ترین میـزان آهـن انـدام هـوایی به‌ترتیب متعلق به پایه‌های یوریکارپا و هیبرید بـود. در شـرایطی کـه پایه‌های بادامی زرند و 'قزوینی' تفاوت معنی‌داری نداشتند (شکل ۳). افزایش و تجمع غلظت آهن اندام هوایی با افزایش سطوح خشکی می تواند به‌علت کاهش رشد اندام هوایی در طی تـنش باشـد کـه سـبب افزایش غلظت این عنصر در واحد وزن خشک شده است (Havlin *et al*., 1999). نتایج هم‌چنین گویای آن بود که با افـزایش دور آبیـاری غلظت آهن ریشه به‌طور معنی‌داری در هرچهار پایه کاهش یافـت. در دور آبیاری ۹ روز میزان کاهش جذب آهن در پایه‌هـای 'بـادامی ریـز زرند'، یوریکارپا، هیبرید و 'قزوینی' به‌ترتیـب ۲۹/۶۰، ۳۵/۴۸، ۲۸/۱۷ و ۵۷/۶۴ درصد نسبت به شاهد بود که بیش‌ترین کـاهش مربـوط بـه پایه

نتیجه‌گیری

تنش خشکی یکی از مهم‌ترین تنش‌های محیطی به‌شمار می‌رود که اولین اثرات آن در گیاهان بـه‌صـورت کـاهش رشـد و اخـتلال در شاخص‌های فیزیولوژیکی بروز می‌کند. براساس پـژوهش فـوق اکثـر پارامترهای مورد اندازه‌گیری تحت تیمار خشکی واقع شدند و پایه‌های مورد بررسی عکس العمل متفاوتی نشان دادند، به‌طوری‌که پایـه‌هـای هیبرید و یوریکارپا نسبت به سایر پایه‌هـا کـم‌تـر تحـت تـاثیر تـنش خشکی قرار گرفتند. پارامترهای بیوشیمیایی و محتـوای نسـبی آب از جمله شاخص‌هایی بودند که تحت تأثیر دور آبیاری واقع شدند. میـزان کربوهیدرات‌های محلول با افـزایش دور آبیـاری افـزایش و محتـوای نسبی آب کاهش یافت به‌طوری که بیش‌ترین میزان قنـد محلـول در پایه‌های هیبرید و یوریکارپا مشاهده شد در حـالی کـه ایـن از لحـاظ محتوای نسبی آب تفاوت معنی‌داری بین پایه‌های هیبرید، یوریکارپا و 'قزوینی' وجود نداشت. سطوح خشکی علاوه بر تأثیر بر شاخص‌هـای رشدی و اکوفیزیولوژیکی باعث تغییر در غلظت عناصر ریشـه و انـدام هوایی گردید به‌طوری‌که افزایش دور آبیـاری سـبب افـزایش عناصـر کلسیم و پتاسیم ریشه و اندام هوایی و هم‌چنـین آهـن انـدام هـوایی افزایش یافت. پتاسیم به‌دلیل نقش در حفظ تورژسانس سلولی و سنتز ترکیبات اسمزی از جمله پرولین نقش بسزایی در مقابل تنش خشکی دارند. با توجه به این‌که بالاترین غلظت پتاسیم اندام هوایی و ریشه در پایه‌های یوریکارپا و هیبرید و کمترین کاهش در زیست‌تـوده در ایـن پایه‌ها مشاهده شد و همچنین ایـن پایـه‌هـا بـا سـازکار تولیـد بیشـتر قندهای محلول در برگ توانستند تنش خشـکی را بـه خـوبی تحمـل کنند می‌توان نتیجه گرفت که پایه‌های مذکور مـی تواننـد بـه‌عنـوان پایه‌های متحمل به خشکی مورد استفاده قرار گیرند.

References

1- Abbasi, A., Shamshiri, M.H., Esmailizadeh, M., & Karimi, H.R. (2013). *Study on combined effects of arbuscular mycorrhiza and jasmonic acid on drought tolerance of pistachio seedlings*. M.Sc. thesis of Vali e asr university of Rafsanjan. 181p.

2- Bagheri, V., Shamshiri, M.H., & Roosta, H. (2011). Effect of arbuscular mycorrhizae and drought stress on growth indexes, water relations and proline as well as soluble carbohydrate content in pistachio (*Pistacia vera*

L.) rootstock. *Journal of Horticultural Science, 42*, 356-377. https://doi.org/20.1001.1.2008482.1390.42.4.6.3
3- Bilger, H.W., Schreiber, U., & Lange, O.L. (1984). Determination of leaf heat resistance-comparative investigation of chlorophyll fluorescence changes and tissue necrosis methods. *Journal of Oecologia, 63*, 256-262.
4- Boudet, A. (2007). Evolution and current status of research in phenolic compounds. *Phytochemistry, 68*, 2722-2735. https://doi.org/10.1016/j.phytochem.2007.06.012
5- Fattahi, M., Mohammadkhani, A., Shiran, B., Baninasab, B., Ravash, R., & Gogorcena, Y. (2020). Beneficial effect of mycorrhiza on nutritional uptake and oxidative balance in pistachio (*Pistacia* spp.) rootstocks submitted to drought and salinity stress. *Scientia Horticulturae, 281*, 109937. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2021.109937
6- Ferrara, G., Pacifico, A., Simeone, P., & Ferrara, E. (2008). Preliminary study on the effects of foliar applications of humic acids on Italia table grape. *Journal International des Sciences de la Vigne et du Vin, 42*, 79-87.
7- Fernandez, R., Perry, T., & Flore, R.L. (1997). Drought response of young apple trees on three rootstocks: growth and development. *Journal of the American Society for Horticultural Science, 122*, 841-848. https://doi.org/10.21273/JASHS.122.6.841
8- Galindo A., Collado-González, J., Griñán, I., Corell, M., Centeno, A., Martín-Palomo, M.J., Girón, I.F., Rodríguez, P., Cruz, Z.N., Memmi, H., & Carbonell-Barrachina, A.A. (2017). Deficit irrigation and emerging fruit crops as a strategy to save water in Mediterranean semiarid agrosystems. *Agricultural Water Management, 202*, 311-324. https://doi.org/10.1016/j.agwat.2017.08.015
9- Ghasemi, M., Arzani, K., Yadollahi, A., & Hokmabadi, H. (2016). Leaf and root mineral concentrations of four pistachio seedling rootstocks under different irrigation regimes. *Iranian Journal of Horticultural Science, 46*, 659-667. https://doi.org/10.22059/ijhs.2015.56913
10- Ghosh, P.K., Ajay, K.K., Bandyopadhyay, M.C., Manna, K.G.A., Mandal, K., & Hati, K.M. (2004). Comparative effectiveness of cattle manure, poultry manure, phosphocompost and fertilizer-NPK on three cropping system in vertisols of semi-arid tropics. *Bioresour Technology, 95*, 85-93. https://doi.org/10.1016/j.biortech.2004.02.012
11- Gijóna, M.D.C., Carmen, G., Perez-López, D., Guerreroa, J., Francisco Couceiroa, J., & Morianac, A. (2010). Rootstock influences the response of pistachio (*Pistacia vera* L. cv. Kerman) to water stress and rehydration. *Scientia Horticulturae, 96*, 666-671. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2010.05.026
12- Gupta, A.S., Berkowitz, G., & Pier, P. (1989). Maintenance of photosynthesis at low leaf water potential in wheat. Role of potassium status and irrigation history. *Plant Physiology, 89*, 1358-1365. https://doi.org/10.1104/pp.89.4.1358
13- Havlin, J.L., Beaton, J.D., Tisdale, S.L., & Nelson, W.L. (1999). Soil fertility and fertilizers: An introduction to nutrient management. *Prentice-Hall*, 406–425.
14- Irigoyen, J.J., Emerich, D.W., & Sanchez-Diaz, M. (1992). Water stress induced changeing concentrations of prolin and total soluble sugars in nodulated alfalfa (*Medcago sativa*) plants. *Plant Physiology, 84*, 55-60. https://doi.org/10.1111/j.1399-3054.1992.tb08764.x
15- Isfendiyaroglu, M., & Zeker, E. (2002). *The relation between phenolic compound and seed dormancy in Pistacia spp*. Grempa Seminar on Pistachios and Almonds. Ciheam, 227-232.
16- Jamshidi Goharrizi, K., Baghizadehb, A., Kalantara, M., & Fatehi, F. (2020). Combined effects of salinity and drought on physiological and biochemical characteristics of pistachio rootstocks. *Scientia Horticulturae, 261*, 108970. https://doi.org/10.1016/j.scienta.2019.108970
17- Jomaeazdean, M.S., Karimi, H.R., & Sadeghiseresht, E. (2019). *Response of two pistachio rootstocks to drought stress based on growth and physiological parameters.* The second national pistachio conference in Iran, 11p.
18- Karimi, H.R. (2015). *Nuts (Pistachios, Almonds, Walnuts, Hazelnuts, Pecans and Chestnuts).* Mashhad University Jihad Publications, 151 p. (In Persian)
19- Hakimnejad, S., Karimi, H.R., Sahhafi, S.R., & Esmaeilizadeh, M. (2019). Morphological, ecophysiological and photosynthetic diversity of some *Pistacia* species for use in breeding programs. *Genetic Resources and Crop Evolution, 66*, 1399–1419. https://doi.org/10.1007/s10722-019-00804-7
20- Kramer, P.J. (1984). Problem in water relation of plant and cells. *International Review of Cytology*, 254-286.
21- Khalid, K.A. (2006). Influence of water stress on growth, essential oil and chemical composition of herbs (*Ocimum* sp.). *International Agrophysics, 20*, 289- 296.
22- Madan, S., Nainwatee, H., Jain, R., & Chiwdhaury, J. (1995). Proline metabolizing enzymes in in-vitro selected NaCl tolerance Brassica Juncea under salt stress. *Annals of Botany, 76*, 51-57.
23- Maliki Kouhbanani, A., & Karimi, H.R. (2012). Evaluation of *Pistacia* interspecific hybrid (*P. vera*× *P. atlantica*) to drought stress. *Iranian Journal of Horticultural Science, 44*, 39-51.
24- Mozaffari, V. (2005). *The role of potassium, calcium and zinc in controlling pistachio Die-back*, Ph.D. thesis,

Soil Science Departement, Agriculture collage, Tarbiat Modares university, Iran. (In Persian)

25- Munns, R. (2002). Comparative physiology of salt and water stress. *Plant Cell Environment*, *25*, 239-250. https://doi.org/10.1046/j.0016-8025.2001.00808.x

26- Noguera-Artiaga, L., Pérez-López, D., Burgos-Hernández, A., Wojdyło, A., & Carbonell-Barrachina1, A.A. (2018). Phenolic and triterpenoid composition and inhibition of α-amylase of pistachio kernels (*Pistacia vera* L.) as affected by rootstock and irrigation treatment. *Food Chemistry*, *145*, 240-245. https://doi.org/10.1016/j.foodchem.2018.04.033

27- Paquin, R., & Lechasseur, P. (1979). Observations sur une method dosage de l proline libre dans les extraits de plantes, *Canadian Journal of Botany*, *57*, 1851-1854. https://doi.org/10.1139/b79-233

28- Ranjbar, A. (2017). Comparative Study on the effect of water stress and rootstock on photosynthetic function in pistachio (*Pistacia vera* L.) trees. *Journal of Nuts*, *8*, 151-159. https://doi.org/10.22034/jon.2017.536245

29- Porra, R.J., Thompson, W.A., & Kriedemann, P.E. (1989). Determination of accurate extinction coefficients and simultaneous equations for assaying chlorophylls a and b extracted with four different solvents: verification of the concentration of chlorophyll standards by atomic absorption spectroscopy. *Biochimica et Biophysica Acta*, *975*, 384-391. https://doi.org/10.1016/S0005-2728(89)80347-0

30- Reddy, A.R., Claitayna, K.V., & Vivekanadan, M. (2004). Drought induced responses of photosynthesis and antioxidant metabolism in higher plants. *Journal of Plant Physiology*, *161*, 1189-1202. https://doi.org/10.1016/j.jplph.2004.01.013

31- Sakcali, M.S., & Ozturk, M. (2003). Eco-physiological behavior of some Mediterranean plants as suitable candidates for reclamation of degraded areas. *Journal of Arid Environments*, *57*, 1-13. https://doi.org/10.1016/S0140-1963(03)00099-5

32- Sardans, J., Penuelas, J., & Ogaya, R. (2008). Drought’s impact on Ca, Fe, Mg, Mo and S concentration and accumulation patterns in the plants and soil of a Mediterranean evergreen Quercus ilex forest. *Biogeochem*, *87*(1), 49–69. https://doi.org/10.1007/s10533-007-9167-2

33- Salajagha Tazarji, F., Mohamadi, H., & Sarghashmapour, M. (2015). Effect of water stress on root rot disease of pistachio seedlings caused *Fusarium solani*. *Iranian Journal of Plant Pathology*, *50*, 280-296.

34- Shao, H.B., Chu, L.Y., Jaleel, C.A., & Zhao, C.X. (2008). Water-deficient stress-induced anatomical changes in higher plants. *Journal of Biology Science*, *331*, 215-225. https://doi.org/10.1016/j.crvi.2008.01.002

35- Whitehouse, W.E. (1975). The pistachio nut a new crop for the Western United States. *Economic Botany*, *11*, 281-321.